

$$r_{1,4} = -0,724 \quad y_4 = 5,49 - 0,03y_1; \quad (21)$$

$$r_{2,3} = 0,95 \quad y_3 = 677 + 0,00514y_1; \quad (22)$$

$$r_{2,4} = 0,952 \quad y_4 = 0,894 + 0,0038y_1; \quad (23)$$

$$r_{3,4} = 0,999 \quad y_4 = -0,414 + 0,735y_3. \quad (24)$$

Металл соединения легированной стали, сваренной лазером, имеет повышенную твердость по сравнению с основным металлом.

Зависимость этой твердости шва, выполненного из стали 30ХГСА толщиной 3 мм, от скорости лазерной сварки можно выразить уравнением:

$$y = HV_{0,2} = 345 + 0,7x, \quad (25)$$

где x – скорость лазерной сварки, м/ч.

УДК 621.771.67

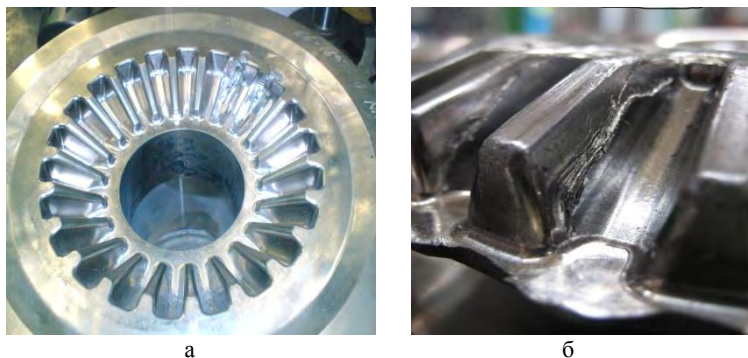
В.М. КОНСТАНТИНОВ, д-р техн.наук (БНТУ),
Д.Е. ЕПИФАНОВ (ОАО МТЗ),
Н.В. БАРИСКОВ (БНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТУЕМЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКЕ

Одним из радикальных путей интенсификации процессов зубообработки является применение в промышленности технологий объемного формообразования периодических профилей наружного зацепления. Это обеспечивает повышение производительности процесса, экономию стали, повышение качества. Наиболее эффективными являются процессы холодного накатывания периодических профилей, в частности, сферодвижная штамповка (СФШ). Типичными преимуществами процесса сферодвижной штамповки являются уменьшение усилий деформации, снижение нагрузок на штамп, повышение стойкости штампов, снижение шума и вибраций, а также возможность полной автоматизации процесса [1]. Су-

существенным преимуществом прессы для сферодвижной штамповки также является то, что в ходе технологической операции без промежуточного отжига может достигаться значительно больше формоизменений. Отпадает потребность в более дорогих многоступенчатых штампах, которые используются при обычной штамповке выдавливанием и которые требуют больших затрат времени для изготовления, монтажа и обслуживания.

Производственный опыт эксплуатации прессы сферодвижной штамповки фирмы HEINRICH SCHMID свидетельствует о недостаточной в ряде случаев стойкости накатных матриц. В этом случае износ поверхности зубьев матрицы не является лимитирующим фактором ее долговечности. Зачастую происходит усталостное разрушение зубьев матрицы (рисунок 1, а). Причем, зарождение усталостной трещины происходит у основания зуба (рисунок 1, б). На заготовках зубчатых колес обнаруживаются различные дефекты, ряд из которых связан недостаточной пластичностью обрабатываемой стали при сферодвижной штамповке (рисунок 2).

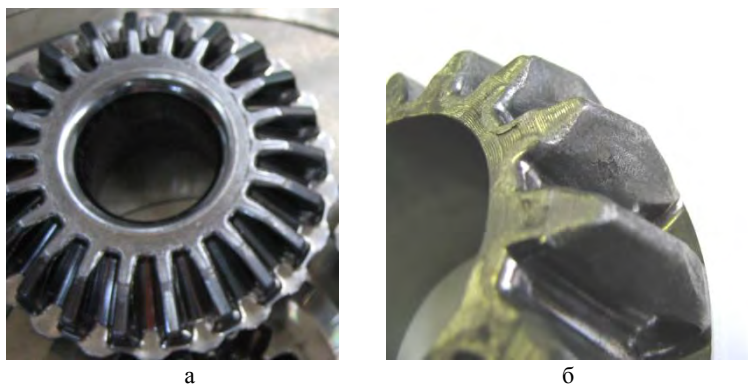


а – выламывание 2-зубьев; б – усталостная трещина у основания зуба

Рисунок 1 – Разрушение матрицы

Традиционно основное внимание при сферодвижной штамповке уделяется режимам пластической деформации. Выполненный анализ результатов сферодвижной штамповки дает основание предположить существенное влияние структуры цементуемой стали на результаты обработки. В литературе указанный фактор рассматри-

вается крайне редко [2], серьезных исследований в этом направлении в доступном информационном фонде не обнаружено. Возможно, это связано с коммерческими соображениями разработчиков технологии сферодвижной штамповки.



а – внешний вид; б – дефект зубчатого профиля

Рисунок 2 – Заготовка шестерни после сферодвижной штамповки

Целью работы являлось исследование влияние структурных аспектов цементуемых сталей на деформируемость заготовок зубчатых колес при сферодвижной штамповке.

Для исследований были вырезаны фрагменты из заготовок после сферодвижной штамповки (рисунок 3). На вырезанных образцах проводили изучение механических свойств и микроструктуры. Для анализа также были использованы результаты анализов ЦЗЛ ОАО «МТЗ».

Холодная пластическая деформация при сферодвижной штамповке значительно упрочняет сталь. Так, для стали 20ХНР до пресса твердость составляла 156 НВ. После обработки она возросла до 197 НВ. Исходная термическая обработка заготовки до штамповки обеспечила до 95 % зернистого перлита по ГОСТ 8233-56. Для низкоуглеродистой цементуемой стали 12ХН3А твердость после аналогичной термической обработки была существенно ниже и составляла 156 НВ. Структура пластического перлита для этой стали после нормализации обеспечила повышение твердости до 197 НВ.

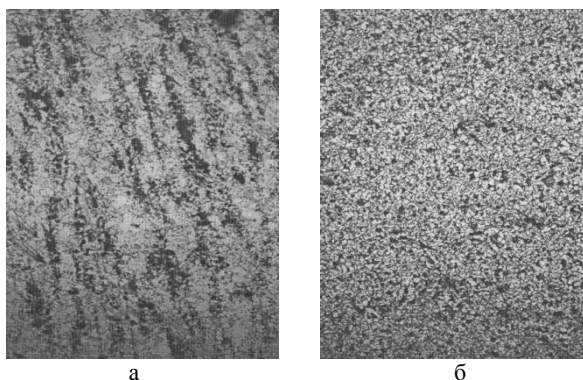


Рисунок 3 – Образцы фрагментов шестерен для испытаний

Микротвердость заготовок после сферодвижной штамповки существенно различается в различных участках зубчатого профиля. На вершине зуба, в зоне относительно небольшой пластической деформации, микротвердость составляет 1700–2000 МПа. Впадина зуба имеет существенно большую микротвердость – 3800–4200 МПа. Аналогичные результаты получены авторами [3]. Это свидетельствует об интенсивной пластической деформации впадины зуба и значительном деформационном упрочнении. Формирование впадины зубного профиля требует дополнительных усилий, нагрузки на матрицу возрастают пропорционально степени наклепа формируемого зубчатого профиля. Есть основание полагать, что уменьшение степени деформационного упрочнения зубчатого профиля может повысить долговечность формообразующего инструмента. В этой связи были проведены работы по анализу влияния исходной структуры и механических свойств заготовок на штампуемость цементуемых сталей при сферодвижной штамповке.

Применение более низкоуглеродистой стали 12ХН3А обеспечило некоторое повышение эффективности сферодвижной штамповки по сравнению со сталью 20ХН3А. Повышение количества избыточного феррита обеспечивает более высокую пластичность стали и некоторое снижение усилия деформирования. Однако прямой корреляции между пластичностью исходной заготовки и результатами сферодвижной штамповки не обнаружено. Так, степень наклепа после сферодвижной штамповки заготовок, подвергнутых полному отжигу, превосходит степень деформационного упрочнения заготовок, предварительно подвергнутых нормализации (рисунок 4). Ука-

занный факт не противоречит классическим представлениям металловедения. Наличие тонкопластинчатого сорбита обеспечивает равномерность пластической деформации и приемлемые значения деформационного упрочнения [4]. Анализ имеющихся экспериментальных результатов позволяет полагать, что для сферодвижной штамповки существенным является не столько общий уровень исходной пластичности стали заготовки зубчатого колеса, сколько степень деформационного упрочнения и соответствующее ей увеличение усилий деформации, особенно на заключительных стадиях формирования зубчатого профиля.



а – впадина зуба, отжиг; б – вершина зуба, нормализация, $\times 200$

Рисунок 4 – Микроструктура цементуемой стали 12ХН3А после сферодвижной штамповки

Заключение

1. Проведенными исследованиями установлена неравномерная и значительная степень наклепа зубчатого профиля в результате холодного накатывания. Так, для стали 20ХНР твердость возрастает с 156 НВ до 197 НВ. Наибольший наклеп характерен для впадины зуба. Микротвердость может достигать значений 3800–4200 МПа, в то время как вершина зуба имеет микротвердость 1700–2000 МПа. Одной из возможных причин преждевременного выхода из строя формообразующего инструмента может являться большая степень упрочнения профиля зуба при сферодвижной штамповке.

2. Влияние предварительной термической обработки перед сферодвижной штамповкой неоднозначно. С одной стороны, отжиг обеспечивает минимальную твердость и высокую пластичность заготовки. Однако склонность к деформационному упрочнению в этом случае значительна. Нормализация заготовки несколько повышает твердость, но при этом есть основание полагать, что суммарный наклеп в ряде случаев может быть меньше.

3. Применение цементуемых сталей с меньшим содержанием углерода в ряде случаев может повысить качество сферодвижной штамповки.

Литература

1. **Востров, В.Н.** Современные технологии накатывания периодических профилей внутреннего зацепления / В.Н. Востров // Металлообработка. – 2011. – № 3. – С. 36–41.

2. **Аксенов, Л.Б.** Прочность сложнодеформирующего инструмента / Л.Б. Аксенов, Л.В. Виноградов // Кузнечно-штамповое производство. – 1988. – № 9. – С. 6–9.

3. **Distribution of Microstructure and Vickers Hardness in Spur Bevel Gear Formed by Cold Rotary Forging/ Zhuang Wuhao [et al.].** [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/809276>. – Дата доступа: 20.10 2016.

4. **Золотаревский, В.С.** Механические свойства металлов / В.С. Золотаревский. – 3-е изд. – М.: Изд-во МИСиС, 1998. – 480 с.